

Рис. 10. Развитие деформаций нижней сжатой грани и напряжений в верхней арматуре межплитных швов в сечении по стыку торца плит с несущими ригелями.

расчетном (Π_a) уровнях нагрузок, напряжения в верхней арматуре межплитных швов не превышают соответственно 38 и 185 МПа. Даже к окончанию замеров при нагрузке $g=13,25$ кПа, эти напряжения составили 405 МПа, что меньше предела текучести, равного 630 МПа. Величина деформаций сжатого бетона по нижней грани сечения незначительна и во всем диапазоне измерений она не превышает 70×10^{-5} . Рассмотренный график деформирования указывает на упруго-пластический характер работы армированного сечения по торцу плит с несущими ригелями. Верхняя арматура межплитных швов и бетон в этом сечении эффективно включены в работу и обеспечивают полное восприятие момента, возникающего в нем под нагрузкой. При этом бетонные шпонки полностью освобождены от воздействия этого момента и тем самым исключена опасность хрупкого разрушения стыкового соединения.

Вывод

Основные результаты экспериментально-теоретических исследований и натурных испытаний, представленные в настоящей статье, показывают, что сборно-монолитный каркас многоэтажных зданий серии Б1.020.1-7 (системы АРКОС) удовлетворяет требованиям ГОСТ 8829-94 и норм проектирования железобетонных конструкций по прочности, жесткости и трещиностойкости, и в зданиях серии Б1.020.1-7 полностью обеспечены условия конструктивной безопасности.

УДК 624.012.45

Бабицкий В.В.

КОНТРОЛЬ КОРРОЗИОННОГО СОСТОЯНИЯ СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

При оценке коррозионного состояния стальной арматуры железобетонных конструкций решаются две различные по трудности реализации, наличию способов и инструментов задачи. В течение так называемого инкубационного периода (период сохранения бетоном своих защитных по отношению к стали функций), задача состоит в выявлении момента перехода стальной арматуры из пассивного в активное состояние. А после активации стали и начала коррозионного процесса необходимо количественно оценивать степень коррозионного поражения арматуры. Пассивна стальная арматура либо активна – достаточно точно выявляется электрохимическими методами, в частности, после анализа хода анодных поляризационных кривых и измерения стационарного потенциала стали. Применительно к металлу, не защищенному слоем

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мордич А.И., Вигдорчик Р.И., Белевич В.Н., Залесов А.С. Новая универсальная каркасная система многоэтажных зданий. Бетон и железобетон, 1999, №1, с. 2...4.
2. Мордич А.И., Садох В.Е. Сборно-монолитные плоские перекрытия из многупустотных плит//Материалы XXIV Международной конференции по бетону и железобетону «Кавказ-92»/19-26 апреля 1992 г. – М.: Стройиздат, 1992.
3. Пространственная работа железобетонных конструкций//Сборник трудов № 90. – М.: МИСИ им. В.В. Куйбышева, 1971. – 391 с.
4. Айвазов Р.Л., Лапицкий И.В. Сборные перекрытия, опертые по контуру и работающие с поперечным распором//Бетон и железобетон, 1991. – № 11. – с. 7-9.
5. Семченков А.С., Третьяков Б.И., Макаренко С.К. Расчет прочности сборных дисков перекрытий связевого каркаса//Бетон и железобетон, 1987. – № 10. – с. 21-23.
6. Лишак В.И., Киреева Э.И., Саарян В.В. Совместная работа многупустотных преднапряженных плит//Бетон и железобетон, 1987. – № 1. – с. 29-31.
7. Семченков А.С. Испытание сборных перекрытий, опертых по контуру//Бетон и железобетон, 1981. – № 1. – с. 11-13.
8. Мордич А.И., Белевич В.Н., Симбиркин В.Н., Николаев А.А. Исследования сборно-монолитного каркаса 18-этажного жилого дома серии Б1.020.1-7 на воздействие вертикальных и горизонтальных нагрузок//Сб. тр. Международной научно-технической конференции «Пространственные конструктивные системы зданий и сооружений, методы расчета, конструирования и технологии возведения». – Мн.: Стринко, 2002. – с. 123-150.
9. Алявдин П.В., Мордич А.И., Симбиркин В.Н. Пространственный расчет сборно-монолитных каркасов многоэтажных зданий с плоскими перекрытиями//Тезисы докладов научной сессии «Компьютерное моделирование и проектирование пространственных конструкций», Москва, 18-20 декабря 2001, МОО «Пространственные конструкции», Госстрой РФ, ГУП ЦНИИСК и др. – с. 21-22.
10. Мордич А.И., Симбиркин В.Н. Совместная работа при эксплуатации рамно-связевых каркасов и стеновых ограждений многоэтажных зданий//Избр.тр. Международной конференции «Проблемы надежности машин и конструкций». Предс. программного комитета В.В. Болотин, Минск, 24-26 сентября 2002. – М., 2003. – с. 115-123.
11. Бондаренко В.М., Колчунов В.И., Воробьев Е.Д. и др. Конструкционная безопасность каркасов жилых зданий//Бюллетень строительной техники, 2004. – № 1. – с. 8-11.
12. Мордич А.И., Белевич В.Н., Симбиркин В.Н., Навой Д.И. Опыт практического применения и основные результаты натурных испытаний сборно-монолитного каркаса БелНИИС//Бюллетень строительной техники, 2004 – № 8. – с. 8-12.

бетона, методики исследования достаточно отработаны, точны, позволяют выявлять многочисленные влияющие факторы [1]. Усилиями ученых НИИЖБа в практику коррозионных исследований внедрены разнообразные электрохимические методы оценки состояния армированных образцов [2]. На основании метода снятия анодных поляризационных кривых разработан и нормативный документ – СТ СЭВ 4421-83. К сожалению, данный стандарт имеет некоторые недостатки, не позволяющие в полной мере реализовать информативность потенциостатического метода.

В Республике Беларусь разработан более совершенный, на наш взгляд, стандарт [3], устранивший ряд недочетов предыдущего нормативного документа. Сама техника снятия анодных поляризационных кривых базируется на традиционной

Бабицкий В.В., кандидат технических наук, доцент каф. строительных материалов и изделий Белорусского национального технического университета.

Беларусь, БНТУ, 220013, г. Минск, пр. Ф. Скорины, 65.

(рис.1), но методика имеет ряд положений, отличных от принятой в СТ СЭВ 4421-83.

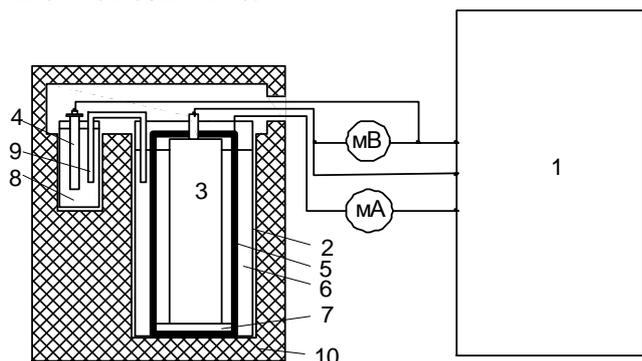


Рис. 1. Установка для снятия поляризационных кривых.

1 – потенциостат; 2 – стеклянный сосуд с рабочей жидкостью; 6 (вода или коррозионная среда); 3 – железобетонный образец; 4 – электрод сравнения; 5 – вспомогательный электрод; 7 – фиксирующая подкладка; 8 – стеклянный сосуд с насыщенным раствором хлористого калия; 9 – электролитический ключ; 10 – теплоизолирующий кожух.

Если ранее все исследования осуществлялись по единой схеме, то теперь, в зависимости от цели, они разделены по трем направлениям:

1. *Оценка влияния компонентов бетона на его защитные действия по отношению к стальной арматуре.* Для реализации данного направления все требования к арматуре, компонентам смеси, технологии изготовления образцов максимально унифицированы. Стальные стержни выполняются из металла одного вида, имеют постоянный диаметр, поверхность обрабатывается по единой технологии. Толщина защитного слоя бетона постоянна. Расход цемента, доля песка в смеси заполнителей и подвижность бетонной смеси также неизменны. Регламентируется и режим твердения. Все это обеспечивает получение примерно идентичной структуры бетона, нивелирует влияние достаточно многочисленных методических факторов на оценку коррозионного состояния стальной арматуры. И тогда влияние основных изучаемых факторов, например, разнообразных химических добавок, выявляется, образно говоря, в «чистом виде». Отличительной чертой техники проведения испытаний является также то, что образцы подвергают обязательным циклическим воздействиям (попеременное насыщение в воде или коррозионной среде и последующее высушивание при температуре 40 °С). Это позволяет

существенно расшатать структуру бетона и активировать возможные процессы коррозии. Принятие решения о коррозионном состоянии арматуры по однократным испытаниям сразу после изготовления образцов исключается – оно принимается только по анализу кинетики изменения плотности поляризующего тока в процессе циклических испытаний.

2. *Оценка коррозионного состояния стальной арматуры в проектируемой железобетонной конструкции.* Данное направление фактически имитирует реальные условия эксплуатации для конкретных железобетонных конструкций. Важное отличие данного направления от первого заключается в том, что отсутствует строгая регламентация исходных факторов. Арматуру (вид, диаметр, техника подготовки поверхности), толщину бетона защитного слоя принимают такими же, как в реальной конструкции. Это же касается и состава бетона, свойств компонентов смеси и технологии изготовления. Испытания проводят в среде, имитирующей особенности агрессивного воздействия на поверхность конструкции на эксплуатируемом объекте. Но сам характер циклических испытаний и ход анализ получаемых результатов сохраняются такими же, как и при испытаниях по первому направлению.

3. *Оценка коррозионного состояния стальной арматуры в эксплуатирующейся железобетонной конструкции.* Отличие данного направления испытаний от первых двух заключается в том, что имитируется поведение стали в бетоне конструкции, уже прошедшей некоторый период эксплуатации на конкретном объекте. В реальной конструкции берут пробу бетона, измельчают, и приготавливают водную вытяжку. Поляризационную кривую стальной арматуры (вид устанавливают по рабочим чертежам на изделии) с фиксированной незащищенной площадью снимают в полученной вытяжке.

Критерии активного – пассивного состояния стальной арматуры качественно и количественно сохранены прежними. Но с целью накопления информации критерии дополнены возможностью оценки состояния напрягаемой стали по результатам испытаний ненапрягаемых образцов. Для этого границы плотности тока, соответствующие критическому состоянию арматуры, уменьшены в 2,0-2,5 раза.

Такая трактовка известной методики позволяет как более строго регламентировать обязательные испытания и ужесточить их, так и создать инструментальную основу для научных исследований.

Метод снятия анодных поляризационных кривых характерен в основном при лабораторных исследованиях железобетонных элементов. Для полевых условий обычно применяют электрохимические методы, основывающиеся на измерениях потенциала стальной арматуры. При этом зачастую используют

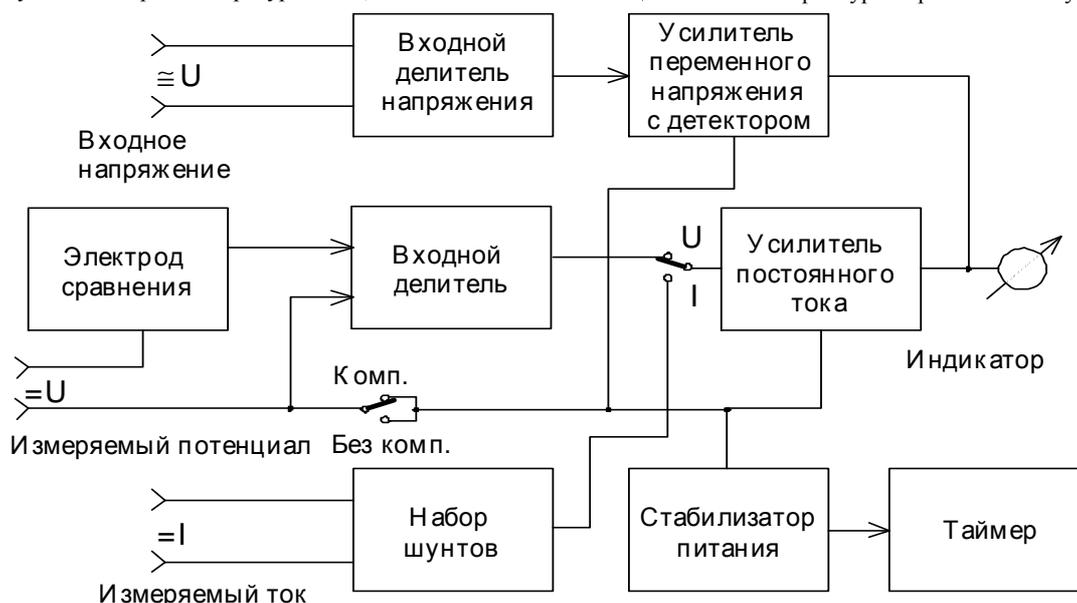


Рис. 2. Блок-схема измерителя потенциалов и токов (ИПТ).

дорогостоящую зарубежную аппаратуру [4]. В БНТУ разработан измеритель потенциалов и токов ИПТ (рис. 2). Прибор имеет автономное питание, портативен, быстродействующий, с устойчивым положением нуля. Кроме традиционного использования (оценка состояния арматуры по величине и тенденции изменения во времени стационарного потенциала), данный инструмент применим и при оценке блуждающих токов.

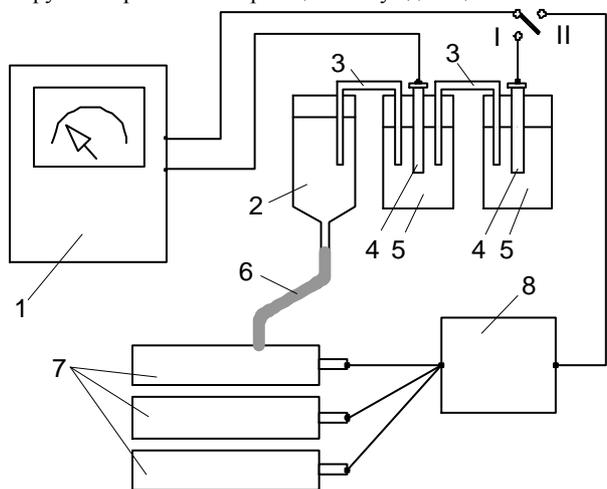


Рис. 3. Установка для измерения потенциалов арматуры. 1 – прибор ИПТ; 2 – проточный сосуд с насыщенным раствором хлористого калия; 3 – электролитический ключ; 4 – электрод сравнения; 5 – стеклянный сосуд с насыщенным раствором хлористого калия; 6 – гибкий шланг; 7 – армированные образцы; 8 – коммутатор.

Высокое входное сопротивление прибора позволяет измерять потенциал арматуры с достаточной точностью не только в водонасыщенном бетоне, но и в сухом. При этом погрешность измерений потенциала стали в сухом бетоне и толщине защитного слоя 50 мм не превышает 25 %, а в насыщенном – 5 %.

При проведении лабораторных исследований (рис. 3) наличие коммутатора (8) позволяет проводить параллельные изме-

рения потенциала в серии образцов (7). Два стакана (5) с электродами сравнения (4) необходимы для установки «нуля» прибора перед началом измерений (при этом переключатель переводят в положение I). После перевода переключателя в положение II осуществляют непосредственное измерение потенциала. Электрохимическая цепь замыкается посредством электролитических ключей (3), проточного сосуда (2) и гибкого шланга (6) со вставкой, выполненной из пористой керамики.

В полевых условиях (рис. 4а) для измерения стационарного потенциала необходимо обеспечить контакт прибора с арматурой железобетонной конструкции, а электрод сравнения должен быть проточного типа.

Описанные методы (и иные, базирующиеся на измерении потенциалов стали) фактически оценивают коррозионное состояние стальной арматуры по двум критериям – сталь находится в пассивном состоянии (не склонна к коррозии) или активном (при неблагоприятном сочетании влияющих факторов вероятна коррозия) и не дают количественную информацию о степени коррозионного поражения арматуры железобетонных конструкций.

Оценка реального состояния арматуры в эксплуатирующейся конструкции с количественной оценкой коррозионных потерь весьма сложна. Необходимо разрушить защитный слой бетона до оголения арматуры и визуально оценить состояние поверхности арматуры. При необходимости часть арматуры вырезать, а затем либо механически определить прочностные характеристики полученного стержня, либо, после травления, определить коррозионные потери. Однако и при такой дорогостоящей и избирательной операции получаемые результаты не вполне объективны, поскольку не всегда известны исходные характеристики арматурной стали, которые приходится принимать по справочникам. Приблизительную оценку осуществляют и по раскрытию трещин на гранях изделия, ширина которых пропорциональна глубине коррозии металла [5]. В принципе, возможно применение достаточно разнообразных электромагнитных методов для оценки коррозионного состояния арматуры, например, по уменьшению диаметра стержня. Однако аппаратура для таких определений должна быть не просто чувствительной, а сверхчувствительной. Это объясняется тем, что даже незначительная коррозия стальной арматуры (по нашим данным около

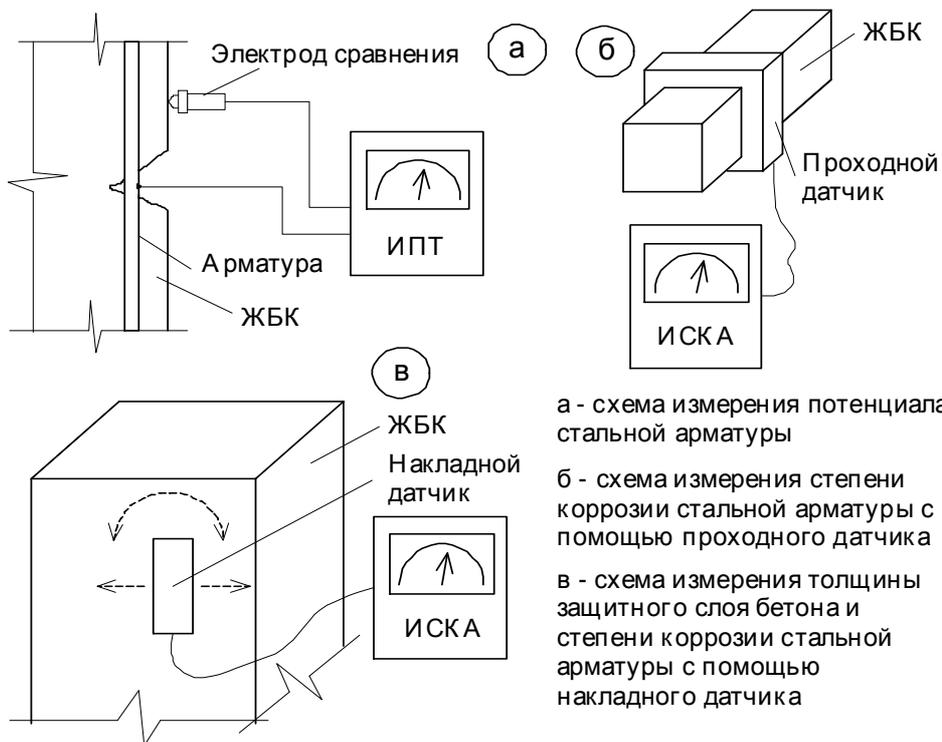


Рис. 4. Схемы оценки коррозионного состояния стальной арматуры железобетонных конструкций.

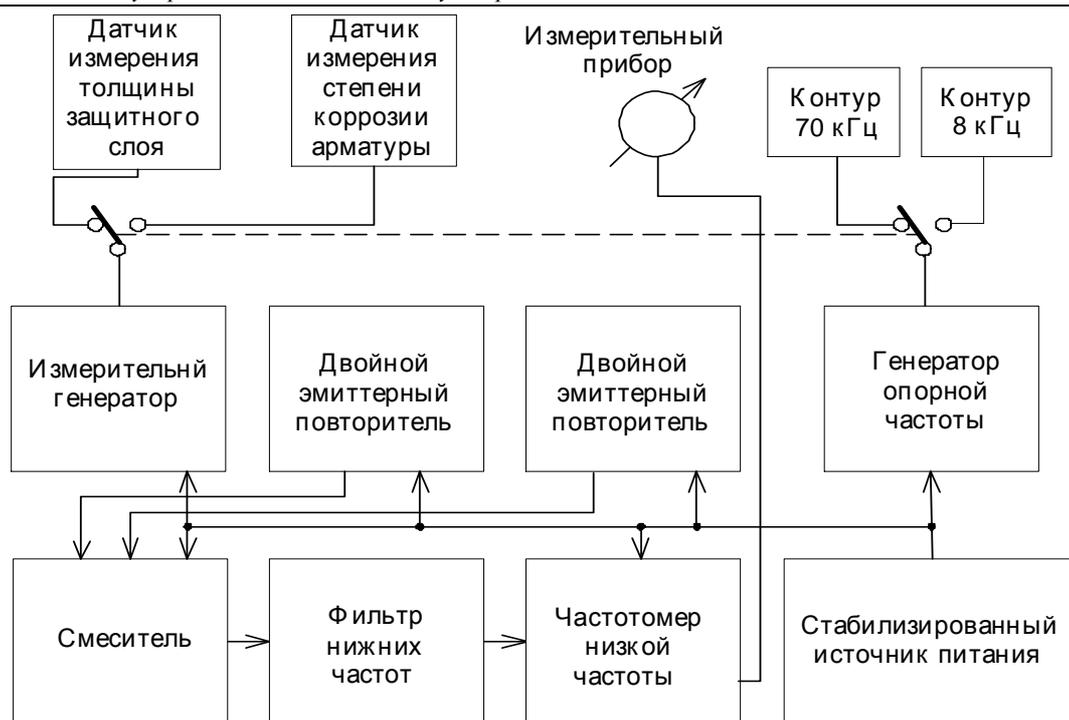


Рис. 5. Блок-схема измерителя степени коррозии стальной арматуры железобетонных конструкций (ИСКА).

120 мг/см²) может привести к раскрытию трещин, утрате сцепления арматуры с бетоном и фактическому выходу конструкции из строя. И столь ничтожные в сравнении с общей исходной массой потери стали весьма трудно количественно оценить, особенно по причине неоднородности диаметра арматурного стержня по длине.

С целью получения инструмента для количественного неразрушающего измерения в БНТУ разработан частотный разностно-ферромагнитный метод оценки коррозионного поражения стальной арматуры. Принцип его действия основывается на существенной разности (в области частот 60-80 кГц) ферромагнитных свойств стали и продуктов ее коррозии. И это дает возможность косвенной оценки степени коррозии стали не по изменению диаметра, а по фиксируемому количеству продуктов коррозии.

На основе метода был разработан прибор (рис. 5), получивший наименование ИСКА (измеритель степени коррозии арматуры), позволяющий последовательно производить два основных измерения – толщины защитного слоя бетона и степени коррозии арматуры. Измерение толщины защитного слоя производят на рабочей частоте 8 кГц (при этом ферромагнитные свойства как самой стали, так и продуктов коррозии практически идентичны), а после переключения контуров, уже на частоте около 70 кГц, определяют степень коррозии арматуры.

Измерения производят с помощью выносных датчиков различного типа. Например, наличие датчика проходного типа позволяет использовать ИСКА как в лабораторных коррозионных исследованиях, так и полевых, при незначительном поперечном сечении железобетонной конструкции (рис. 4б). Преимущества датчиков такого типа заключается в том, что влияние колебаний толщины защитного слоя бетона не столь существенно. Датчик же накладного типа более универсален и применим при контроле железобетонных конструкций любого типа (рис. 4в). Вначале, ориентируя датчик различным образом, находят места залегания и направление расположения арматурных стержней. Затем определяют толщину защитного слоя бетона и далее, уже с учетом толщины защитного слоя бетона, находят степень коррозии арматуры,

используя для перехода от показаний прибора к единицам коррозии стали разнообразные градуировочные зависимости.

К сожалению, при построении градуировочных зависимостей необходимо учитывать (как, собственно, и в любом ином неразрушающем методе контроля) разнообразные влияющие факторы. Для данного метода к числу таких факторов можно отнести вид, диаметр и уровень напряжения арматурного стержня, состояние его поверхности, состав и глубину залегания продуктов коррозии, ферромагнитные включения в бетон и др. Однако все это не должно быть препятствием для внедрения метода в практику коррозионных исследований.

Таким образом, наличие комплексной аппаратуры и отработанных методик позволяют достаточно объективно оценивать коррозионное состояние стальной арматуры как в лабораторных условиях, так и при обследовании состояния стальной арматуры железобетонных конструкций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фрейман Л.И., Макаров В.А., Брыскин И.Е. Потенциостатические методы в коррозионных исследованиях и электрохимической защите/ Под ред. акад. Я.М. Колотыркина. Изд-во «Химия». – Л., 1972. – 240 с.
2. Алексеев С.Н., Рагинов В.Б., Розенталь Н.К., Кашурников Н.М. Ингибиторы коррозии стали в железобетонных конструкциях. – М.: Стройиздат, 1985. – 272 с.
3. СТБ 1168-99. Бетоны. Метод контроля коррозионного состояния стальной арматуры в бетоне и защитных свойств бетона. – Мн.: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 1999.
4. Семенов А.В., Тромпель Д.А. Методы диагностики при обследовании искусственных сооружений. Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров в Республике Беларусь: Материалы VI Международного научно-технического семинара. / Под ред. Н.П.Блещика, А.А.Борисевича, Т.М.Пецольда. – Мн.: УП «Технопринт», 2000. – С. 318-321.
5. А.И. Васильев. Оценка коррозионного износа рабочей арматуры в балках пролетных строений автодорожных мостов. // Бетон и железобетон.–2000.– № 2.– С. 20-23.